

Stråförkortningsmedel i jordbruket – klormekvatklorid och dess effekter på vete, korn och raps

*Plant growth regulators in agriculture – chlormequat chloride
and its effects on wheat, barley and rapeseed*

Elin Lindén



Självständigt arbete • 15 hp

Agronomprogrammet mark/växt

Självständigt arbete / Institutionen för växtbiologi, SLU, 174

Uppsala 2019

Stråförkortningsmedel i jordbruket – klormekvatklorid och dess effekter på vete, korn och raps

Plant growth regulators in agriculture – chlormequat chloride and its effects on wheat, barley and rapeseed

Elin Lindén

Handledare: Folke Sitbon, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för växtbiologi
Examinator: Per-Olof Lundquist, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för växtbiologi

Omfattning: 15 hp
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i Biologi
Kursansvarig inst.: Institutionen för växtbiologi
Kurskod: EX0894
Program/utbildning: Agronomprogrammet mark/växt

Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2019
Omslagsbild: Elin Lindén
Serietitel: Självständigt arbete / Institutionen för växtbiologi, SLU
Delnummer i serien: 174
Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: stråförkortningsmedel, klormekvatklorid, CCC, gibberellin, växthormon, groning, tillväxt, paklobutrazol

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för växtbiologi

Sammanfattning

Syftet med det här arbetet är att undersöka effekterna av stråförkortningsmedel för uppkomst från frö och tillväxt av plantor för en- och tvåhjärtbladiga grödor i relation till växthormonet gibberellin.

Stråförkortningsmedel med den aktiva substansen klormekvatklorid (CCC), som hämmar syntesen av växthormonet gibberellin, användes här för att undersöka effekterna på uppkomst och tillväxt hos vete, raps och korn. Resultaten visar att CCC har signifikant positiv effekt på uppkomst vid behandling av vete- och rapsfrön. CCC har signifikant hämmande effekt på tillväxt vid behandling av vete- och rapsplantor och har signifikant ökande effekt på veteplantors bestockning. CCC har inga signifikanta effekter vid behandling av kornplantor.

Nyckelord: stråförkortningsmedel, klormekvatklorid, CCC, gibberellin, växthormon, groning, tillväxt, paklobutrazol

Abstract

The aim of this thesis is to study the effects of growth retardants on emergence of seed and growth on mono- and dicot crops in relation to the plant hormone gibberellin.

A growth retardant with the active substance chlormequat chloride (CCC), that inhibit the synthesis of gibberellins, was used to study the effects on emergence of seed and growth in wheat, rapeseed and barley. The results show that CCC has significant positive effects on the emergence of wheat and rape seeds. CCC significantly reduces stem elongation on wheat and enhances the number of tillers on wheat. Likewise, CCC also has reducing effects on growth on rapeseed plants. In contrast CCC has no effect on emergence from seed, stem elongation or tillers on barley.

Keywords: PGR, plant growth regulators, chlormequat chloride, CCC, gibberellin, plant hormones, germination, plant growth, paclobutrazol

Innehållsförteckning

Tabellförteckning	4
Figurförteckning	5
Förkortningar	6
1 Inledning	7
1.1 Syfte	7
1.2 Bakgrund	7
1.3 Växthormoner	8
1.4 Frön och groning	9
1.5 Gibberelliner	10
1.6 Spannmålsens skördekomponenter	10
1.7 Stråförkortningsmedel	11
1.8 Jordbruket och EU	12
2 Material och metod	13
2.1 Växtmaterial	13
2.2 Uppkomst	13
2.3 Tillväxt	14
3 Resultat	16
3.1 Uppkomst	16
3.2 Tillväxt	16
4 Diskussion	18
Referenslista/References	22
Tack	25
Bilaga 1. Behandlingsplan och beräkningar	26
Bilaga 2. Bilder från försöken	29
Bilaga 3. Rapporten – pilotförsöket 2018	32
Tillväxtretardenter - paklobutrazol och dess effekt på groning och tillväxt av vete	32

Tabellförteckning

Tabell 1. Uppkomst 8 dagar efter sådd i % för gamla och nya frön av vete, korn och raps behandlad med klormekvatklorid (CCC) 5 mg/l och obehandlade kontroller. Gamla frön definieras som skördade minst två år sedan och nya är skördade föregående år. Behandlingarna har 200 sådda frön/behandling. Signifikansnivån anges av *=p <0,05.	16
Tabell 2. Tillväxt, nodsträckning och bestockning av vete- och kornplantor samt tillväxt, bladlängd och stamtjocklek av rapsplantor behandlade med klormekvatklorid (CCC) 0,005 mg/l, CCC 0,05 mg/l, CCC 0,5 mg/l och obehandlade kontroller. Värden i tabellen visas i cm för tillväxt, nodsträckning, stamtjocklek och bladlängd och bestockning i antal sidoskott. Behandling av plantorna skedde elva dagar efter sådd och alla värden avser mätning 0–20 dagar efter behandling. Signifikansnivån anges av *= p <0,05, **= p <0,01 och ***= p <0,001.	17
Tabell 3. Beräkning och omvandling av hektardos till krukdos för Cycocel plus för behandling av frön och plantor av vete, korn och raps.	27
Tabell 4. Beräkning och omvandling av hektardos till krukdos för Cycocel plus för behandling av frön och plantor av vete, korn och raps. Stocklösning innehållande 50 mg CCC/l.	28

Figurförteckning

<i>Figur 1.</i> Uppkomstförsök - sådd av vete, korn och raps, två tråg per behandling. Efter sådd lades ett lager såjord på fröna och därefter behandlades jorden med vatten eller CCC.	29
<i>Figur 2.</i> Uppkomstförsök - uppkomst av vete behandlad med CCC 5mg/l vid sådd.	29
<i>Figur 3.</i> Tillväxt för raps behandlad med CCC vid tvåbladstadiet, från vänster obehandlad kontroll, CCC 0,005 mg/l, CCC 0,5 mg/l och CCC 5 mg/l.	30
<i>Figur 4.</i> Tillväxt för vete behandlad med CCC vid tvåbladstadiet, från vänster obehandlad kontroll, CCC 0,05 mg/l, CCC 0,5 mg/l och CCC 5 mg/l.	30
<i>Figur 5.</i> Tillväxt av pål- och lateralrötter för raps behandlad med CCC vid tvåbladstadiet, från vänster CCC 0,05 mg/l och CCC 5 mg/l.	31
<i>Figur 6.</i> Tillväxt av korn behandlad med CCC vid tvåbladstadiet, från vänster obehandlad kontroll och CCC 5 mg/l.	31

Förkortningar

CCC	Klormekvatklorid
GA	Gibberellin
GA3	Gibberellinsyra
PAK	Paklobutrazol
ha	hektar

1 Inledning

1.1 Syfte

Syftet med det här arbetet är att undersöka effekterna av stråforkortningsmedlet klormekvatklorid (CCC) för uppkomst från frö och tillväxt av plantor för en- och tvåhjärtbladiga grödor i relation till växthormonet gibberellin.

Frågeställning I är om behandling med CCC applicerad i jord har effekt på uppkomst från frö för en- och tvåhjärtbladiga grödor där fröet har olika ålder och om behandling med CCC applicerad i jord hämmar gibberellinsyrasyntesen i frö.

Frågeställning II är om behandling med olika mängd CCC applicerad i jord har olika effekt på tillväxt för en- och tvåhjärtbladiga grödor.

1.2 Bakgrund

Året 1927 undersöker en japansk forskargrupp risfält infekterade av svampen *Gibberella Fukuroij* som orsakar risplantorna att sträcka sig tills de faller omkull. Genom studier kommer forskarna fram till att svampen producerar ett hormon som reglerar längdtillväxt hos växter, gibberellin (GA) (Taiz & Zieger 2003; Bewley *et al.* 2013). Upptäckten av gibberellinets funktion når inte västvärlden förrän efter andra världskrigets slut 1945 (Bienbaum *et al.* 2018). Genom upptäckten och hur GA bl.a. reglerar tillväxt utvecklas medel som hämmar GA-syntesen och liknande växthormoner i växter för att hämma sträckning hos grödor och andra odlade växter. I Sverige kallar vi dessa medel för växtskyddsmedel och stråforkortningsmedel när det gäller längdreglering i grödor. Stråforkortningsmedlen används för att undvika liggsäd som innebär att spannmålsplantor som till exempel vete, rågvete, råg, havre och korn lägger sig mot marken vilket medför skördeförluster. Stråforkortningsmedlen möjliggjorde ökade kvävegivor då de tunga axen hölls uppe av ett stabilare strå och ett mer utvecklat rotsystem (Jeppsson 1986). Tillsammans med kunskapen om växthormoner och nya innovationer revolutioneras och

rationaliseras jordbruket. På 70-talet börjar vi få ett spannmålsöverskott i Sverige och världen. På 80-talet kulminerar miljödebatten kring övergödning i våra sjöar och hav samt resthalter av olika kemikalier i mat. År 1987 blev det förbjudet att använda stråförkortningsmedel i Sverige. Förbudet hävdes i råg 1988 (Johansson 2017). Sverige gick med i EU 1995 vilket medförde en gemensam jordbrukspolitik samt konkurrens med övriga medlemsländer. Användningen av stråförkortningsmedel i vete, rågvete, korn och havre blev åter tillåtet år 2011 (JBV 2012). Klormekvatklorid (CCC) är ett ämne som hämmar GA-syntesen och är aktivt ämne i vissa stråförkortningsmedel. Det blev förbjudet 1987 och blev åter godkänt för användning i Sverige 2016.

Paklobutrazol (PAK) är ett ämne som likt CCC hämmar GA-syntesen och blev godkänt att använda i Sverige år 2016 (KEMI 2019). I Sverige används PAK enbart i trädgårdsindustrin för att hämma sträckning av prydnadsväxter. Det är persistent i jord och i de växtdelar som blivit behandlade. Under våren 2018 undersöktes effekterna av PAK på uppkomst och tillväxt för vete. Rapporten för försöken 2018 ligger till grund för denna uppsats (bilaga 3).

1.3 Växthormoner

Växthormoner, även kallade fytohormoner, är små signalmolekyler som är aktiva vid mycket låga koncentrationer. De styr såväl utveckling som tillväxt hos växter genom att omvandla yttre signaler till inre signalprocesser. De produceras oftast på en plats i plantan för att sedan transporteras och ha effekt på en annan. De mest studerade växthormonerna är auxin, gibberellin (GA), cytokinin, etylen, abskissinsyra (ABA), jasmonsyra och brassinosteroider (Taiz & Zieger 2003). Hur fungerar växthormonerna i växter och vid frögroning? Ett exempel är ABA och GA. De hormonerna är antagonister där ABA hämmar och GA stimulerar groning. ABA har effekt vid mognad, lagring och vid frövila. Det initierar bl.a. syntes av frölagringsproteiner, skapar torktålighet, inducerar frövila och ser till att fröet förblir vilande. GA har motsatt effekt och bryter frövilan. Många hormoner påverkar fler än en biologisk process, något som gör studier av hormoner mer komplext (Bewley *et al.* 2013) men det har visats att GA bl.a. försvagar aleuronlagret hos groende cerealier, stimulerar syntetisering av α -amylas för mobilisering av stärkelsesreserver till det växande embryot och att det stimulerar till cellsträckning genom att vara med i celldelning och elongering av cellen. Ett annat exempel på växthormoner är auxin. Auxin är växthormonet som får växter att växa men har ingen direkt funktion vid groning. Däremot har den en vital roll för cellsträckning, rotinitiering och sidorotutveckling, medierar för böjande svar av plantan i relation till ljus och gravitation. Cytokinin reglerar cellsträckning och är likt auxin ett viktigt hormon i

växten. Det vanligaste cytokinet är zeatin. Etylen är det enda gasformiga hormonet och kan ha effekt på brytandet av frövila. Brassinosteroider är polyhydroxysteroider och påverkar utveckling av växten genom cellsträckning och cellutveckling, gravitropism och stimulerar stresstolerans (Bewley *et al.* 2013).

1.4 Frön och groning

En uppkommen planta föregås av olika utvecklings- och tillväxtstadier där fullgjord groning är ett avgörande stadium. Ett frö innehåller alla delar för att skapa en ny växt som säkerställer artens överlevnad. Generellt är fröet, som vi vanligen ser det, i vila. Frön lämnar moderplantan i primär frövila vilket inducerats av det utvecklande och mognande embryot. Då fröet fortfarande är kvar på plantan syntetiserar det ABA som både initierar den primära frövilan och sedan fungerar som kontrollfaktor och inhiberar groning då fröet lämnat plantan (Bewley *et al.* 2013).

Fröet består av tre lager, eller skal, som skyddar och omger embryot och endospermet och kallas utifrån och in för epidermis, fruktskal och fröskal. Ett fjärde lager omger endospermet och kallas aleuronlagret. I en vetekärna ligger embryot i kärnans nedre del. Mellan embryot och endospermet ligger en sköld som skiljer dem åt och kallas scutellum. Embryot är diploid och är den del av fröet som bär på det genetiska materialet. Endospermet är triploid och är det stärkelserika lagringsorgan som ska förse det växande embryot med näring. Som ett exempel består en vetekärna av ca 80–86 % endosperm, 5–10 % frukt- och fröskal, och 4–6 % embryo (Fogelfors 2015).

Groningen kan delas in i tre faser. Fas I initieras med ett snabbt upptag av vatten vilket direkt sätter igång respiration och metabolism. Fas II är en platåfas. Vid torkningen av fröet inför frövilan går delar av DNA, RNA och mitokondrier sönder och under fas I och II initieras en lagningsprocess. LEA-proteiner (late embryogenesis abundant-proteiner), som har en viktig funktion vid fröets mognad och torkning, bryts snabbt ner i embryot för att kunna skapa nya proteinkomplex. Mitokondrierna som redan finns i fröet ger tillräckligt med ATP för att underhålla metabolismen under flera timmar efter fas I. Hos oljelagrande frön som raps bildas nya mitokondrier direkt i fas I (Bewley 1997). Fram till slutet av fas II kan fröet avbryta groningen och återgå i vila, kallad sekundär frövila. Det sker om embryot inte kan väckas, att det ligger i vila eller om miljön inte ger tillräckligt bra förhållanden för groning vilket kan bero på faktorer som temperatur och ljus. Ett frö som bryter sekundär frövila har lägre metabolism än ett frö i primär frövila. Fas III är den avslutande fasen. Då sker ett nytt upptag av vatten. Embryot börjar syntetisera GA som diffunderar in i endospermet via scutellum och vidare till aleuronlagret.

En anledningen till torkningen hos cerealiers, spannmåls, frön verkar vara att aleuronlagret ska bli mer känsligt för GA (Bienbaum *et al.* 2018). Aleuronlagret börjar på signal av GA att syntetisera α - och β -amylas som mobiliserar den lagrade näringen i endospermet. Den omvandlade näringen går tillbaka via scutellum i form av glukos till det växande embryot. Groningen avslutas med att radiclen tar sig ut ur fröskalet och embryot utvecklas därefter till en groddplanta (Bewley 1997; Taiz & Zieger 2003).

Inom förädlingen av stråsäd har man jobbat för att minska groningsvilan hos frön. Detta för att få en jämnare uppkomst på fältet samt skapa mer homogen groning av framförallt korn inom mältningsindustrin (Koranteng & Matthews 1982).

1.5 Gibberelliner

Gibberelliner finns i växter, svampar och bakterier (Bienbaum *et al.* 2018). De påverkar både utveckling och tillväxt hos växter genom att bl.a. stimulera frögroning, nod- och stamsträckning, skotttillväxt, blomutveckling och blomning samt fruktsättning och endosperminlagring. De högsta koncentrationerna av bioaktivt GA₁ i omogna frön är ca 1 ppm och ca 1–10 ppm i vegetativa växtdelar. I frögroning bryter GA vilostadiet genom en process som påverkar vegetativ tillväxt hos endospermet och mobiliseringen av matreserverna (Tuan *et al.* 2018).

Det finns idag 130 kända GA där de allra flesta är inaktiva i form av metaboliter och förstadier. Forskning har visat att GA₁, GA₃, GA₄ och GA₇ är bioaktiva former i växter (Bienbaum *et al.* 2018). Gibberelliner är uppkallade efter svampen *Gibberella fujikuroi* som orsakar sjukdomen 'bakanebyou' eller 'foolish seedling disease'. Genom att producera och exudera ett eget gibberellin, GA₃, får svampen plantan att börja sträcka på sig tills den faller omkull och då kan svampen få i sig näring genom att bryta ner växten. Det var ur denna svamp man först extraherade gibberellin och förstod dess verkningsätt i växter. Gibberelliner bildas i växter från *ent*-kauren, en diterpenoid. Terpenoider är bioaktiva ämnen, även kallade sekundära metaboliter. GA är tetracykliska diterpenoider uppbyggda av 4 isoprenoider. GA syntetiseras i flera steg bl.a. i plastiden, vidare till endoplasmatiskt reticulum och slutligen till cytosolen där GA₁ syntetiseras som är en av de mest bioaktiva formerna av GA i växter (Herbert 1982; Koranteng & Matthews 1982; Taiz & Zieger 2003).

1.6 Spannmåls skördekomponenter

Grödor som vete och korn är strukturellt uppbyggda av flera delar som inom jordbruket kallas skördekomponenter vilka sammantaget bildar ett skördeindex. Under livscykeln går spannmålen genom faserna groning, bestockning,

stråskjutning, axgång, pollinering och frömnad. De gror som frön och utvecklas och tillväxer sedan till en planta som vid fullvuxet stadium går i ax och genererar nya frön. Plantan består vid fullvuxet stadium av ett rotsystem som förankrar plantan och förser den med bl.a. vatten och näring. Den består av ett huvudskott som i tidigt stadium av den vegetativa tillväxten förgrenar sig med sidoskott, vilket kallas bestockning. Antal sidoskott på en planta beror bl.a. på art, sort och miljöfaktorer som till exempel tillgång på vatten och näring. Det enskilda skottet består av ett strå med internoder, som är som leder på plantan, och fotosyntetiserande blad. Nere vid markytan inne i strået ligger axanlaget som ska generera nya frön. Vid stråskjutning sträcker sig strået mellan noderna och vid axgång växer axanlaget upp från markytan genom strået för att bli pollinerat. Efter pollinering sker frömnad då kärnorna fylls med näring. När kärnorna mognat och torkat till en viss vattenhalt skördas de (Fogelfors 2015). Enligt Fogelfors är skördekomponenterna för vete, korn och andra spannmål följande:

- Antal plantor per ytenhet
- Antal ax per planta
- Antal småax per ax
- Antal fertila blommor per småax

1.7 Stråförkortningsmedel

Stråförkortningsmedel är medel och produkter som har en aktiv substans som hämmar växters tillväxt. Användningsområdena och de aktiva substanserna är många. I Sverige använder vi tillväxtreglering för behandling av prydnadsväxter, på golfbanor, i hushållen och inom jordbruket. I jordbruket ligger vikten på att förebygga liggsäd genom att skapa ett stabilare strå samt ge bättre rottillväxt och minska tillväxt vid invintring av ex. raps. Fördelarna med stråförkortningsmedel är framförallt minskad liggsäd. Liggsäd kan bero på många faktorer som stråbassjukdomar och svamp, dålig etablering med dåligt utvecklat rotsystem, svagt strå och tunga ax eller ökad kvävegödsling (Johansson 2017). Ett mekaniskt problem med liggsäd är att det blir svårare att tröska liggande gröda. Det ökar risken för vivipari, att kärnorna börjar gro på moderplantan, speciellt vid fuktigt väder.

Stråförkortningsmedel minskar risken för liggsäd genom att bland annat stärka strået och möjliggör då även en ökad kvävegödsling som leder till ökade skördar (Jeppsson 1986). Vissa stråförkortningsmedel, som CCC, har skördeökande komponenter även då liggsäd inte föreligger (Herbert 1982; Koranteng & Matthews 1982).

Klormekvatklorid (CCC), 2-kloretyltrimetylammoniumklorid, är ett aktivt ämne som hämmar GA-syntesen och används i Sverige vid behandling av vete-, råg-, rågvete- och havreodlingar samt gräsfröodlingar (KEMI 2019).

1.8 Jordbruket och EU

Jordbruksgrödor och speciellt spannmål som vete, korn, ris och majs är mycket viktiga råvaror. De är lätta att lagra och ger bra näring till människor och djur. Produktionen av spannmål i världen var 2017 ca 2600 miljoner ton (FAO, 2019 2019). I Sverige under 1900-talet fram till idag har odling av spannmål gått till lägre antal odlad hektar medan skördar per hektar har ökat från ca 1500 kg/ha till ca 6000 kg/ha (Jordbruksverket 2019). Detta beror bland annat på sortförädling, olika typer av växtskyddsmedel, gödselstrategier samt nya tekniska lösningar inom jordbruket. Förädlingen av spannmål har fokuserat på högre kärnskörd per planta tillsammans med ett starkare strå och det är framförallt vete som förädlats bland annat för artens förmåga att producera många kärnor per planta (Fogelfors 2015).

Sverige ingår i den norra zonen i EU tillsammans med Danmark, Finland, Estland, Lettland och Litauen, samt Norge som står utanför EU (KEMI 2019). Företag som vill få sina produkter sålda i ett EU-land måste först se till att de aktiva substanserna i produkten är godkända i hela EU. Ett ytterligare godkännande krävs för den zon som företaget vill sälja produkten inom. Zonsamarbetet fungerar så att om ett företag gör en ansökan om att få sälja produkten i ett land kan det landet göra en riskbedömning för hela zonen och de medlemsländer som ingår. Efter riskbedömningen är genomförd får varje enskilt land själv avgöra om produkten ska godkännas för försäljning inom landet och det är företaget själv som ansöker om godkännande. Ett ömsesidigt erkännande kan också göras om ett växtskyddsmedel redan är godkänt i ett land i samma zon. Detta har skett 2017 när ett stråförkortningsmedel med aktiva ämnet CCC blev godkänt i Sverige då det tidigare godkänts i Danmark (KEMI 2019).

2 Material och metod

2.1 Växtmaterial

Val av växtmaterial genomfördes utifrån två kriterier. Det ena var utifrån syftet att undersöka stråförlämningsmedels effekterna på en- och tvåhjärtbladiga växter. Det andra var att undersöka grödor som odlas i svenskt jordbruk. Utifrån tidigare försök (bilaga 3) och att den är en enhjärtbladig gröda, valdes vårmete. Vårmete valdes utifrån dess egenskap som tvåhjärtbladig gröda. Korn valdes utifrån egenskapen enhjärtbladig gröda och att tidigare forskning visat på att stråförlämningsmedel inte har samma effekt på kornplantor som på veteplantor. Frön till uppkomstförsöket och tillväxtförsöket anskaffades från två platser. Gamla frön som skördats för minst två år sedan skaffades från SLU i Uppsala. Till uppkomstförsöket och nya frön som skördats föregående år skaffades frön från Lantmännen i Uppsala.

2.2 Uppkomst

Uppkomstförsöket bestod av två behandlingar med två replikat. Två typer av frön användes, Nya och Gamla, från en- och tvåhjärtbladiga grödor. Varje behandling hade 200 sådda frön (bilaga 2). Nya frön var frön av vete, korn och raps som skördats föregående år. Gamla frön var frön av vete och raps som skördats för minst två år sedan. Behandlingarna bestod av en dos CCC och en obehandlad kontroll. Försöksupplägget var baserat på försök genomförda 2018 med tillväxtretardanten paklobutrazol (bilaga 3). Dosen CCC baserades på Cycocel Plus 460 mg/l (BASF 2019) där en hektardos på g/ha omvandlades till mg/cm² för att passa ett tråg på 23*27*5 cm. Behandlingen innehöll 5 mg CCC/tråg (bilaga 1). Syftet var att undersöka om stråförlämningsmedel som hämmar GA-syntesen har

effekt på en- och tvåhjärtbladiga växters uppkomst från frö samt undersöka om stråförlängningsmedlet har effekt på uppkomst av gamla och nya frön.

Sådd och behandling av frön genomfördes på följande sätt. Frön vägdes upp till ett bestämt antal och såddes jämt i ett obehandlat tråg á 23*27*5 cm. Såjord som vägde 620 g och motsvarade 2,5 cm sådjup lades på fröna och plattades lätt till för god kontakt mellan jord och frö. Trågen behandlades sedan med antingen CCC 5 mg/tråg eller som obehandlad kontroll. Behandlade tråg vattnades sedan till en vätskemängd av 800 ml/tråg med vanligt kranvatten. Varje behandling hade 200 sådda frön uppdelade på två tråg, 100 frön i varje. Behandlade tråg ställdes i växthus och vattnades regelbundet med näringsvatten, 'Blomstra'(Orkla AB) 2 ml/l. Uppkomstförsöken varade under 10 dagar efter sådd.

Mätmetoden var okulär besiktning där synligt hjärtblad ovan jord räknades som uppkomst från frö. Den statistiska analysen genomfördes med Chi 2-test, Cramers V och Lambda (Lowry 2019) med signifikansnivå $p=0,05$.

2.3 Tillväxt

Tillväxtförsöket bestod av fyra behandlingar med åtta replikat. Plantor av vete, korn och raps användes. Försöksupplägget baserades på försök från 2018 med tillväxtretardenten paklobutrazol (bilaga 3). Doserna med CCC baserades på Cycocel Plus 460 mg/l (BASF 2019) där en hektardos på g/ha omvandlades till mg/cm² för att passa en kruka på 9*9*9 cm (bilaga 1). Behandlingarna innehöll antingen 0,5 mg CCC/kruka, 0,05 mg CCC/kruka, 0,005 mg CCC/kruka eller obehandlad kontroll utan stråförlängningsmedel. Syftet var att undersöka om olika mängd av stråförlängningsmedel har olika effekt på plantor av en- och tvåhjärtbladiga grödor.

Val av plantor baserades på friska plantor för respektive art av vete, korn och raps som hade liknande längd och som kommit in i tvåbladstadiet elva dagar efter sådd. De omplanterades i krukor om 9*9*9 cm i såjord, en planta per kruka. En stocklösning på 50 mg CCC/l bereddades och spädades till rätt dos för varje behandling. Åtta plantor av samma art placerades i slutna system där varje planta i det slutna systemet fick samma behandling (bilaga 1). Efter behandling sattes plantorna i växthus och vattnades med näringsvatten, 'Blomstra'(Orkla AB) 2 ml/l. Alla slutna system fick lika stor mängd vatten vid varje bevattningstillfälle.

Mätmetoderna för vete och korn var plantornas längd, översta nodens längd och bestockning. För raps mättes hela plantans längd, bladlängd och stamtjocklek. Linjal användes som mätinstrument. Mätvärdena noterades i cm med en decimal utom för bestockning där antal sidoskott räknades i antal. Krukans överkant definierades som plantornas botten för alla arter. Plantans längd mättes från botten upp till det längsta

bladets topp och nodlängd från botten till översta noden på plantan. Stamtjocklek och bladlängd för raps mättes vid 3:e bladets bladbas samt hela 3:e bladets längd.

Den statistiska analysen genomfördes med T-Test i Microsoft Excel med signifikansnivå $p=0,05$, $p=0,01$ och $p=0,001$.

3 Resultat

3.1 Uppkomst

Resultaten visar att CCC 5 mg/l signifikant stimulerar uppkomst 8 dagar efter sådd av vete och raps vid behandling av Gamla frön (tabell 1).

Resultaten visar att CCC inte har några uppkomsthämmande effekter vid behandling vid sådd av frön av vete, korn eller raps (tabell 1).

Tabell 1. Uppkomst 8 dagar efter sådd i % för gamla och nya frön av vete, korn och raps behandlad med klormekvatklorid (CCC) 5 mg/l och obehandlade kontroller. Gamla frön definieras som skördade minst två år sedan och nya är skördade föregående år. Behandlingarna har 200 sådda frön/behandling. Signifikansnivån anges av $*=p < 0,05$.

	Nya frön		Gamla frön	
	Obehandlad kontroll	CCC 5 mg/l	Obehandlad kontroll	CCC 5 mg/l
Vete	100%	100%	53%	72%*
Korn	87%	93%		
Raps	94%	95%	8%	16%*

3.2 Tillväxt

Resultaten visar att CCC 0,5 mg/l och CCC 0,05 mg/l signifikant hämmar tillväxt och nodsträckning vid behandling av veteplantor. De nämnda doserna ökar signifikant bestockningen för veteplantor. De nämnda doserna av CCC hade inga effekter på tillväxt, nodsträckning eller bestockning av kornplantor. Resultaten visar att CCC 0,5 mg/l med signifikans hämmar tillväxt, stamtjocklek och bladlängd vid behandling av rapsplantor (tabell 2).

Tabell 2. Tillväxt, nodsträckning och bestockning av vete- och kornplantor samt tillväxt, bladlängd och stamtjocklek av rapsplantor behandlade med klormekvatklorid (CCC) 0,005 mg/l, CCC 0,05 mg/l, CCC 0,5 mg/l och obehandlade kontroller. Värden i tabellen visas i cm för tillväxt, nodsträckning, stamtjocklek och bladlängd och bestockning i antal sidoskott. Behandling av plantorna skedde elva dagar efter sådd och alla värden avser mätning 0–20 dagar efter behandling. Signifikansnivån anges av *= $p < 0,05$, **= $p < 0,01$ och ***= $p < 0,001$.

	Obehandlad kontroll (CCC)	CCC 0,005 mg/l	CCC 0,05 mg/l	CCC 0,5 mg/l
Tillväxt i cm 0–20 dagar efter behandling				
Vete	41	38	34**	22***
Raps	23	22	25	20**
Korn	38	36	39	37
Nodtillväxt i cm 8–20 dagar efter behandling				
Vete	8	7,5	6,5*	3,4***
Korn	8,6	8,5	9,3	7,4
Bestockning i antal 20 dagar efter behandling				
Vete	2,1	2	2,8***	3,1*
Korn	2,4	2,3	2,6	2,5
Stamtjocklek i cm 20 dagar efter behandling				
Raps	0,43	0,43	0,45	0,32**
Bladlängd i cm 20 dagar efter behandling				
Raps	18,3	18,1	18,5	15,2***

4 Diskussion

Uppkomstförsöken visar att klormekvatklorid (CCC) har uppkomststimulerande effekt på gamla frön av vete och raps. Då uppkomst föregås av groning av frön kan slutsatsen dras att CCC har groningsstimulerande effekter, vilket samstämmer med tidigare forskning (Koranteng & Matthews 1982; Weidner 1987; Bewley *et al.* 2013). I uppkomstförsöket med gamla frön var grobarheten hos raps och vete låg, och CCC hade en signifikant positiv inverkan på uppkomsten. Tillväxtreglerare (plant growth regulators, PGR) som klormekvatklorid (CCC) har visats ha positiv effekt på groning och uppkomst under torkstress (Koranteng & Matthews 1982; Jeppsson 1986), vilket kan förklara effekten på uppkomsten av försöket med gamla frön då de utsatts för torkstress under lagring.

I uppkomstförsöket med gamla frön som hade lägre grobarhet hade CCC positiv effekt på uppkomst för vete och raps i jämförelse med kontrollen (tabell 1). Hypotetiskt skulle CCC kunna hämma groning och därigenom uppkomst eftersom GA är en del av länken mellan embryot och dess väg upp till ytan. Tidigare forskning poängterar att vi inte vet tillräckligt mycket om vilka mekanismer, proteiner eller hormoner som sätter igång groning och att samspelet mellan växthormoner är komplext vilket gör det svårt att studera (Herbert 1982; Weidner 1987; Bewley 1997; Bienbaum *et al.* 2018). Det kan vara så att CCC inte når embryot vid frögroning vilket skulle kunna förklara att GA-syntesen inte störs vid behandling av frön. Weidner kom bland annat fram till att separerade embryon hämmas i tillväxt vid behandling av CCC medan imbiberade frön inte hämmade tillväxten av embryot. Enligt Weidner tyder effekterna av CCC på groende frön att det är mer än bara GA-syntesen som hämmas och att CCC även kan ha effekt på andra proteinbiosynteser och reglering av genuttryck (Weidner 1987). För att få bättre förståelse om det komplexa system som reglerar utveckling och tillväxt hos växter beskriver Bienbaum att forskning på GA:s mRNA via GUS-reportergener samt på alla biosynteserna för GA skulle kunna leda till att specifika sensorer kan tas fram som ger en "read out" för hela GA-familjen (Bienbaum *et al.* 2018) vilket

kan skapa en bättre bild av växthormoners syntes och var de signalerar för genuttryck.

Resultaten för tillväxtförsöket visar att CCC har effekter på tillväxt där bland annat stråsträckning hämmas och bestockning ökar för vete vilket samstämmer med tidigare forskning (Herbert 1982; Koranteng & Matthews 1982). Tillväxteffekter på raps var signifikanta för CCC 0,5 mg/l där plantlängd, bladlängd och stamtjocklek hämmades vilket var förväntat (Pharis & Ried 1985).

I relation till resultatet ser vi att effekterna av CCC på vete- och kornplanter överensstämmer med tidigare forskning (Herbert 1982; Koranteng & Matthews 1982; Jeppsson 1986). Något annat som är konstaterat är de skördeökande komponenterna som följer vid behandling av CCC, även då liggsäd inte föreligger. Resultaten från tillväxtförsöken visar att CCC inte har någon effekt på korn fram till bestockningsfasen. Koranteng och Matthews skriver dock att effekterna på tidigt behandlat korn (bl.a. trebladstadiet) genom sprutning med CCC respektive GA3 ger en effekt på tillväxt hos plantan både i skördekomponenterna skott per planta och fröskörd per planta (Koranteng & Matthews 1982). Självt tycker jag att resonemanget låter rimligt utifrån resultaten i tillväxtförsöken samt att CCC verkar ha retarderande effekter på hela veteplanter vilket ger plantan mer tid att bestocka sig och anlägga axanlag, detsamma kunde ske på korn om försöket pågått under längre tid och om behandling via sprutning skett.

I frågan om stråförkortningsmedelsanvändning i relation till dess skördeökande effekt och möjlighet till ökad kvävegödsling får mig också att fundera kring insatsmedel i jordbruket och hur de ska appliceras för att ge bästa effekt och vad den effekten är. Något som har förändrats sedan 80-talet och förbudet mot stråförkortningsmedel är de odlingsmetoder vi idag använder och förädlingen av spannmålssorter där mer stråstarka sorter framtagits och där ökad kärnfyllnad prioriterats (Fogelfors 2015). Spannmålssorter för vete har alltså blivit bättre motståndskraftiga mot liggsäd utan applicering av stråförkortningsmedel. Förbudet -87 föregicks av en miljödebatt där bland annat ökad kväveanvändning övergödde våra land och sjöar och att resthalter av stråförkortningsmedel återfanns i livsmedel. Idag har exempelvis kantzoner runt fält och bättre växtföljd minskat näringsläckage men resthalter av stråförkortningsmedel finns fortfarande i världen, EU och Sverige (Livsmedelsverket *et al.* 2016). På hemsidan för Cycocel Plus skriver de ”Den försvagning av strået, som ökad kvävegödsling ger, motverkas av Cycocel Plus”(BASF 2019). Detta antyder att ökade insatsmedel i form av kväve kräver insatsmedel som hämmar stråttillväxt. Jag funderar kring vad som är nödvändigt för en optimal skörd och ett optimerat jordbruk. Är det att producera så mycket som möjligt med alla de insatsmedel som finns, eller är det tvärt om att producera så mycket som möjligt med så lite insatsmedel som möjligt?

Men debatten kring stråförlortningsmedel är inte bara en om miljöeffekter och resthalter i livsmedel utan även en om konkurrenskraft. Förbudet mot stråförlortningsmedel hävdes för behandling i råg 1988 då svenska lantbrukare demonstrerade mot importen av råg som behandlats med stråförlortningsmedel då de själva inte fick behandla sina fält och stora risker för liggsäd följde (Ohlin *et al.* 1988). Förbudet mot behandling av stråförlortningsmedel i odlingar av vete, rågvete, korn, havre och gräsfrö hävdes 2011 (JBV 2012; Johansson 2017). Efter inträdet i EU 1995 konkurrerar svenska lantbrukare med övriga Europa. Lantbrukarnas riksförbund (LRF) har ställt sig kritisk till att svenska lantbrukare inte kan konkurrera på lika villkor inom EU bland annat på grund av att Sverige har en striktare lagstiftning kring växtskyddsmedel än övriga EU (LRF 2018). Om Sverige vill minska sin kemikalieanvändning tror jag personligen att det kan vara ett problem att tillåta fler medel på marknaden då detta leder till ökade mängder försålda ämnen. I statistiken går det att läsa att 2015 var den försålda mängden aktiva ämnen i tillväxtreglerande produkter i jordbruket 28,5 ton mot 31,6 ton 2017 och då hade registrerade ämnen ökat från 9 till 12 (KEMI 2015; KEMI & Shahinyan 2017). Men å andra sidan kommer konkurrenskraften i svenskt jordbruk möjligtvis missgynnas om svenska jordbrukare inte har tillgång till samma insatsmedel som indirekt kan öka skördarna genom skydd av grödor som övriga EU har att tillgå.

Detta leder in på ogräsbekämpning. Ogräs är de största anledningarna till skördebortfall globalt och även i Sverige (Fogelfors 2015). Om tillväxtretardenter som CCC används i fält genom sprutning kan det antas att en viss mängd når markytan. Då de flesta frön oavsett art går igenom samma gröningsförlopp där samma växthormoner mer eller mindre reglerar dess metabolism tänker jag personligen att CCC och liknande aktiva ämnen kan ha en positiv effekt på groning och uppkomst av ogräsfrön likaväl som de har en effekt på grödor som cerealier och raps. Det kan vara en aspekt vid vidare forskning att undersöka effekterna av CCC på ogräsfrön men även på blomning då CCC i tillväxande gröda konstaterats hämma sträckning hos plantor kan det tänkas att ogräsplantor som kommit upp vid spruttillfället hämmas i sträckning vilket kunde leda till triggad blomning och fröspridning (Taiz & Zieger 2003; Bewley *et al.* 2013; Hallström 2015).

Avslutande reflektion

Klimatförändringarna sätter stor press på jordbruket både i Sverige och världen. För att kunna föda en växande befolkning samtidigt som vi tar hand om vår planet behövs djupare kunskap om de insatsmedel som används i jordbruket samt hur dessa medel omsätts på fälten, i grödor och i naturen. Stråförlortningsmedel har använts både för växtskydd och har hjälpt oss bättre förstå hur växthormoner påverkar utveckling och tillväxt hos våra grödor. Mer forskning behövs. Då de flesta artiklar och forskning om stråförlortningsmedel kommer från 80- och 90-talet är det hög

tid att använda den redan tillgängliga kunskapen och komplettera med ny forskning utifrån dagens odlingssystem, insatsmedel och kunskap.

Referenslista/References

- BASF (2019-05-01). *Cycocel Plus*. <https://www.agro.basf.se>. Tillgänglig:
<https://www.agro.basf.se/sv/Produkter/Produktoversikt/Cycocel-Plus.html>
- Bewley, J.D. (1997). Seed Germination and Dormancy. *The Plant cell*. vol. 1997, ss. 1055–1066. Tillgänglig:
<http://www.plantcell.org/content/plantcell/9/7/1055.full.pdf>
- Bewley, J.D., J. Bradford, K., W.M. Hilhorst, H. & Nonogaki, H. (2013). *Seeds - Physiology of Development, Germination and Dormancy*. 3. uppl. Springer New York Heidelberg Dordrecht London. Tillgänglig:
<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-1-4614-4693-4.pdf>
- Bienbaum, J., Weinstain, R. & Shani, E. (2018). Gibberellin Localization and Transport in Plants. *Trends in Plant Science*. vol. volym 23 (5), ss. 410–421. Tillgänglig:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1360138518300244>
- FAO, 2019 (2019). *FAO Cereal Supply and Demand Brief* Tillgänglig:
<http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/>
- Fogelfors, H. (2015). *Vår mat*. 1. uppl.
- Hallström, L. (2015). *Traditionell odling av utplanteringsväxter – utan kemisk retardering eller avancerad klimatstyrning*. (Kandidatuppsats, 15 hp). Institutionen för kulturvård Göteborgs universitet. Tillgänglig:
https://gupea.ub.gu.se/bitstream/2077/40720/1/gupea_2077_40720_1.pdf
- Herbert, C.D. (1982). Growth regulation in cereals - chance or design? *Chemical manipulation of Crop Growth and Development*. BASF United Kingdom Limited, Hadleigh, Ipswich, Suffolk: BUTTERWORTHS, Heinemann, ss. 315–327.
- JBV (2012). *Konsekvensbeskrivning för förslag om förbud för viss användning av växtskyddsmedel*. Tillgänglig:
<http://www.jordbruksverket.se/download/18.7fce753c13a4ec2cda780002164/Konsekvensbeskriv>
- Jeppsson, M. (1986). *Tillväxtregulatorer: verkningssätt, fysiologiska och morfologiska effekter samt användning i jordbruket*. (Examensarbete). SLU.
- Johansson, L. (2017). Tillväxtreglering i stråsäd. *Proceedings of Uddevallakonferensen 13 januari 2017 Lars Johansson Jordbruksverkets*

- växtskyddscentral i Skara, Uddevalla, januari 13 2017. ss. 1–25.
Uddevalla: Jordbruksverket
- Jordbruksverket, A.-M.K. (2019). *Jordbruket i siffror - odling och skörd av spannmål de senaste 100 åren* Tillgänglig:
<https://jordbruketsiffror.wordpress.com/2018/07/16/areal-spannmal-1865-2017/>
- KEMI (2015). *Försålda kvantiteter av bekämpningsmedel 2015*.
Kemikalieinspektionen. Tillgänglig:
https://www.kemi.se/global/statistik/bekampningsmedel/forsalda_bkm_2015.pdf
- KEMI (2019-04-05). *Nytt produktgodkännande. Kemikalieinspektionen*. [Statlig myndighet]. Tillgänglig:
<https://www.kemi.se/bekampningsmedel/vaxtskyddsmedel/ansok-om-godkannande-for-vaxtskyddsmedel/nytt-produktgodkannande>
- KEMI & Shahinyan, E. (2017). *Försålda kvantiteter av bekämpningsmedel 2017*.
Kemikalieinspektionen. Tillgänglig:
https://www.kemi.se/global/statistik/bekampningsmedel/forsalda_bkm_2017.pdf
- Koranteng, G.O. & Matthews, S. (1982). Modifications of the development of spring barley by early applications of CCC and GA3 and the subsequent effects on yield components and yield. *Chemical Manipulation of Crop Growth and Development*. BUTTERWORTHS, ss. 343–357.
- Livsmedelsverket, Jansson, A., Fohgelberg, P. & Widenfalk, A. (2016). *Kontroll av bekämpningsmedelsrester i livsmedel 2015*. (19/2016) Tillgänglig:
<https://www.livsmedelsverket.se/globalassets/publikationsdatabas/rapporter/2016/kontroll-av-bekampningsmedelsrester-i-livsmedel-2015.pdf> [2019-04-25]
- Lowry, R. (2019). *vassarstats.net*. <http://vassarstats.net>. [Statistik]. Tillgänglig:
<http://vassarstats.net>
- LRF (2018). *Så jobbar LRF med växtskyddsfrågan*. Tillgänglig:
<https://www.lrf.se/politikochpaverkan/aganderatt-och-miljo/vaxtskyddsarbete/lrfs-arbete-med-vaxtskydd/>
- Ohlin, B., Pihlström, T. & Jansson, E. (1988). Resthalter av klormekvat i spannmål och spannmålsprodukter 1987. *Vår föda*, vol. 40 (1), ss. 8–18
- Orkla AB, O.A. *Blomstra växtnäring 2016*. Tillgänglig:
http://www.papyrus.com/MEDIA_CustomProductCatalog/m8400010_20386392015.pdf
- Pharis, R.P. & Ried, D.M. (1985). Exogenous Application of Synthetic Growth Regulators that Affect Cold Hardiness. *Hormonal Regulation of Development III: Role of Environmental Factors*. ss. 430–433.
- Taiz, L. & Zieger, E. (2003). *Plant Physiology*. 13. uppl. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc., Publishers.
- Tuan, P.A., Kumar, R., Rehal, K.P., Toora, K.P. & Ayele, T.B. (2018). Molecular Mechanisms Underlying Abscissic Acid/Gibberellin Balance in the Control of Seed Dormancy and Germination in Cereals. *Frontiers in Plant Science*, vol. 2018 (9). Tillgänglig:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29875780>

Weidner, S. (1987). The effect of the plant growth retardants AMO-1618 and CCC on the synthesis of ribonucleic acids and proteins in triticales embryos during the initial phase of germination. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*. Polen: Department of Plant Physiology and Biochemistry, Agricultural-Technical Academy, ss. 303–314.

Tack

Till Folke Sitbon, utan vars stöd jag inte kunnat genomföra mina försök och därigenom inte fått den kunskap jag har idag.

Bilaga 1. Behandlingsplan och beräkningar

Syfte

Att se på stråförkortningsmedlet Cycocel Plus aktiva substans klormekvatklorids påverkan på grödors groning och tillväxt.

Försöksupplägg

2 preparat: klormekvatklorid & jord behandlad med paklobutrazol

2 arter: monokotyledon (vete), dikotyledon (raps)

Tillägg: korn tillades under försökets gång

3 doser:

- paklobutrazol: rekommenderad dos: *1, *10⁻¹ och *10¹
- klormekvatklorid: rekommenderad dos: *1, *10⁻¹ och *10⁻¹⁰

Kontroller för mono- och dikotyledoner

6 replikat för tillväxt, 2 extra

100 frön/behandling vid groningsförsök

#revidering: försöken behandlas ej med paklobutrazol under kandidatarbetet då ämnet inte finns att tillgå under denna tidsperiod (slut på hyllan och tar för lång tid att beställa för att försöksplanen ska gälla)

Groningsförsök

Pilot: Behandling enligt försöksupplägg men bara med kontroll och maxkoncentration. 100 frön kommer att sås i tråg á 2 behandlingar, kontrollen kommer ha 200 frön/art för uppförökning till tillväxtförsök.

Utvärdering: skillnad i uppkomst respektive uppkomsthastighet avgör om ett mer utökat försök genomförs.

Försök: 200 frön sås i tråg á 2 behandlingar enligt försöksupplägget.

Tid för försöket: 7 dagar. Reviderad till 10 dagar.

Mätmetod blir okulär besiktning där uppkomst räknas som synligt hjärtblad ovan jord samt groningshastighet.

Tillväxtförsöket

Från groningsförsöket kommer 200 frön från varje art som såddes som kontroll användas till tillväxtförsöket á 4 behandlingar inklusive kontroller, sammanlagt 32 plantor av varje art kommer väljas ut.

Tillväxtförsöket kommer att pågå under 4–5 veckor med 4–5 mättillfällen med 5 dagars mellanrum.

Mätmetod (cm):

- Längd från plantans bas till högsta bladets topp, startlängd innan behandling noteras.
- Antal synliga noder ovan första noden
- Längd mellan stråbas och översta noden
- Bestockning
- Tillväxthastighet

Behandling av jord

Behandling av jorden med de olika koncentrationerna sker i samband med försökens start. Om piloten för groning ger skillnad kan ytterligare behandling göras av jord då tillväxtförsöket sätter igång, se fröuppkomst för info.

Yta och mängd jord

Yta i växthuset baserat på nedanstående beräkningar kräver max ca 3 m², om piloten på groning inte visar skillnad krävs en yta på ca 1 m².

Tillväxt:

12 st behandlingar med 6 replikat i varje slutet system

Tråg á 27*23 cm = 621 cm² = 0,0621 m²

12*0,0621 m² ≈ 0,75 m²

Fröuppkomst:

10 st behandlingar i tråg, behövs 2 tråg per behandling

Tråg á 27*23 cm = 621 cm² = 0,0621 m²

10*2*0,0621 m² ≈ 1,24 m²

Mängd jord är beroende på fröuppkomst.

Tid

Växthusförsöket kommer att pågå under 4–5 veckor.

Beräkningar

Stocklösning: 50 mg CCC/l

Beredning av klormekvatklorid groning per tråg 27*23 cm

- 5mg/tråg, fördelas jämt över tråget
- 5mg/tråg → 50mg/liter
- 100ml av stocklösningen för maxdos behandling
- Blandas ut i vatten

Krukorna

- 0,5mg/kruka → 10 ml stocklösning/kruka

Tabell 3. Beräkning och omvandling av hektardos till krukdos för Cycocel plus för behandling av frön och plantor av vete, korn och raps.

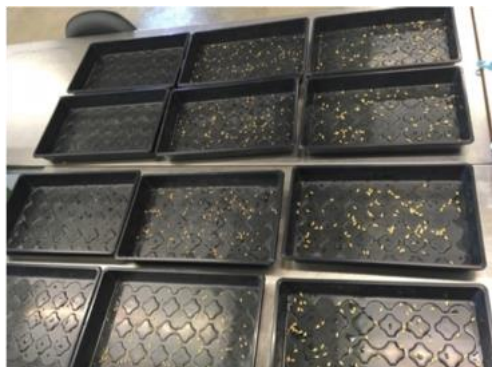
g/l			g/ha		Yta (m2)	Dos g/ m2		Dos mg/ cm2		
	Conc. g/l	Volym min	Volym max	min	max		min	max	min	max
CCC	460	1,4	2	644	920	10000	0,0644	0,092	0,0064 4	0,0092

Tabell 4. Beräkning och omvandling av hektardos till krukdos för Cycocel plus för behandling av frön och plantor av vete, korn och raps. Stocklösning innehållande 50 mg CCC/l.

	Yta cm ²	Dos min mg	Dos max mg	Dos medel mg	Faktisk dos mg	Faktisk dos ml från stocklösning
9*9*9 cm kruka	72,25	0,46529	0,6647	0,564995	0,5	11,2999
27*23*5 cm tråg	621	3,99924		4,85622	5	97,1244
Kruka dos 3 (max)					0,5	10
Kruka dos 2					0,05	1
Kruka dos 1 (min)					0,005	0,1

Bilaga 2. Bilder från försöken

Uppkomst



Figur 1. Uppkomstförsök - sådd av vete, korn och raps, två tråg per behandling. Efter sådd lades ett lager såjord på fröna och därefter behandlades jorden med vatten eller CCC.



Figur 2. Uppkomstförsök - uppkomst av vete behandlad med CCC 5mg/l vid sådd.

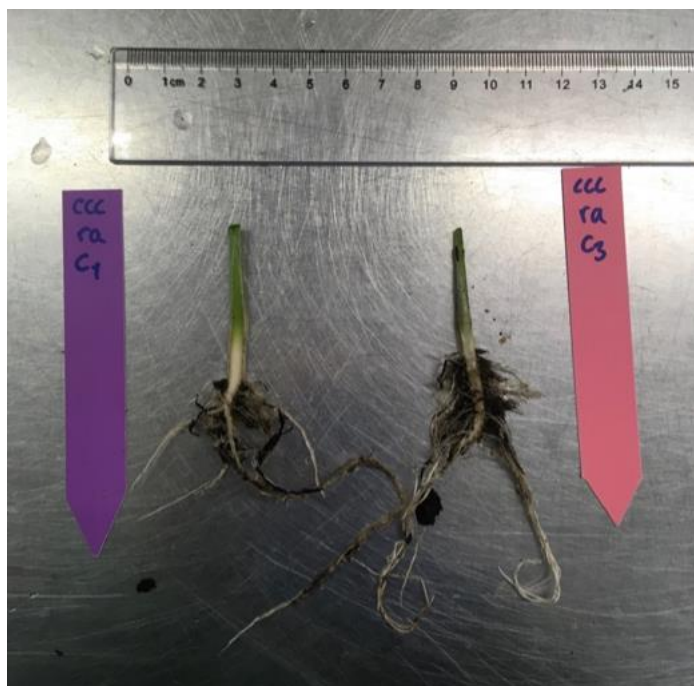
Tillväxt



Figur 3. Tillväxt för raps behandlad med CCC vid tvåbladstadiet, från vänster obehandlad kontroll, CCC 0,005 mg/l, CCC 0,5 mg/l och CCC 5 mg/l.



Figur 4. Tillväxt för vete behandlad med CCC vid tvåbladstadiet, från vänster obehandlad kontroll, CCC 0,05 mg/l, CCC 0,5 mg/l och CCC 5 mg/l.



Figur 5. Tillväxt av pål- och lateralrötter för raps behandlad med CCC vid tvåbladstadiet, från vänster CCC 0,05 mg/l och CCC 5 mg/l.

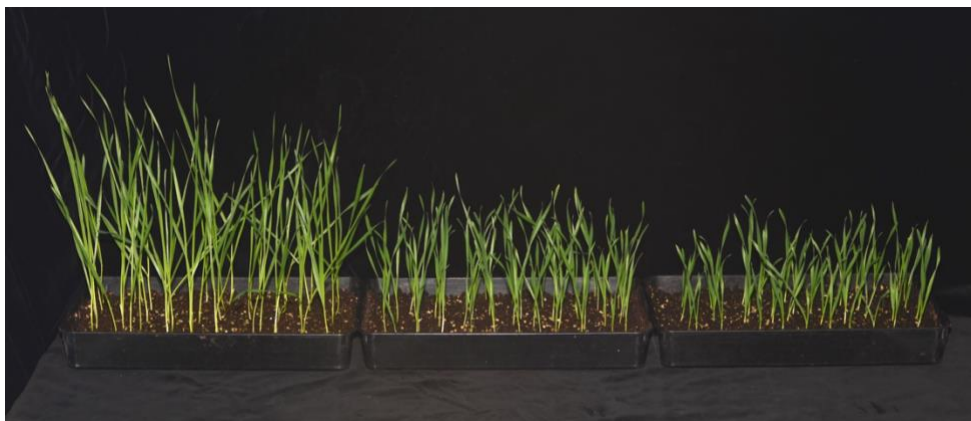


Figur 6. Tillväxt av korn behandlad med CCC vid tvåbladstadiet, från vänster obehandlad kontroll och CCC 5 mg/l.

Bilaga 3. Rapporten – pilotförsöket 2018



Tillväxtretardenter - paklobutrazol och dess effekt på groningen och tillväxt av vete



Av Elin Lindén, agronomstudent -mark/växt, SLU
Handledare Folke Sitbon, Institutionen för Växtbiologi

Inledning

Bakgrund

Paklobutrazol (PAK) är en tillväxtretardant som säljs i Sverige sedan 2017 men har funnits på marknaden i EU sedan 2011 och i andra delar av världen sedan 80-talet. I Sverige är ämnet endast tillåtet för retardering av prydnadsväxter. Med retardering menas en hämning av gibberellinsyrasyntesen vilket i första hand leder till att växten inte sträcker sig. I Sverige får jord och växtdelar som kommit i kontakt med produkten inte komposteras eller återanvändas då det aktiva ämnet kan ligga kvar i jorden och påverka tillväxt hos nästkommande gröda och i synnerhet tvåhjärtbladiga växter.

Under kursen Växtbiologi (BI1279) på Ultuna genomfördes ett kursförsök med tillväxtreglerare hos vete och sallad. PAK och gibberellinsyra 3 (GA3) användes i kursförsöket. GA3 ökar gibberellinsyntesen vilket gör att växten sträcker sig, PAK hämmar denna syntes vilket minskar sträckning av blad och stam. Kursförsöket var uppdelat i två delar båda innehållande grödorna vete och sallad. Ett tidsförsök med endast en koncentration av de verksamma ämnena som tillsattes vid olika tillväxtstadier. Ett koncentrationsförsök där plantorna blev behandlade vid samma tillväxtstadium med olika koncentration av de verksamma ämnena. Behandlingarna med PAK utfördes med fyra olika koncentrationer bestående av en rekommenderad koncentration på 38,78 mg PAK/l(rek.10⁰), en tiondel av den rekommenderade(rek.10⁻¹), en hundradel av den rekommenderade(rek.10⁻²) samt 10 gånger den rekommenderade koncentrationen(rek.10¹). Vid försökets avslutande kunde vid okulär besiktning tydliga skillnader skilja kontrollen från plantor behandlade med PAK och GA3 i både tidsförsöket och koncentrationsförsöket. Efter att kursförsöket avslutats sparades jorden från alla behandlingar i separata märkta plastpåsar. Avsikten med detta var att vid ett eventuellt framtida försök se om de aktiva ämnena skulle finnas kvar och ge effekt på efterkommande grödor som planterades i jorden, om det brutits ner eller på annat sätt immobiliserats efter tid.

Försöket återupptogs ca tre månader efter att kursförsöket avslutats. Syftet var att se om jord som tidigare behandlats med olika typer av tillväxtreglerare har någon effekt på groningen. Vikten lades på retardanten. Vete användes och jordarna som användes var PAK rek.10⁰, PAK rek.10¹ och jord behandlad med GA3 samt obehandlad jord för kontroll. Ingen av de behandlade jordarna hade någon effekt på groningen men däremot på tillväxt efter uppkomst. Ett uppföljningsförsök genomfördes i direkt anslutning till groningsförsöket. Syftet var att se om jordar som tidigare behandlats med tillväxtreglerare hade någon effekt på tillväxt hos friska plantor. Ett nytt försöksupplägg utformades och uppdrivet vete från kontrollen till groningsförsöket planterades i behandlade jordar med PAK (rek.10⁰, rek.10⁻¹, rek.10⁻² och rek.10¹) och GA3 samt en nybehandlad jord med PAK rek.10⁰. En obehandlad kontroll placerades tillsammans med den nybehandlade PAK rek.10⁰, där syftet med detta var att se effekten av förorenat vatten och om plantan tar upp ämnet via rötterna. Efter att försöket avslutats kunde både okulära och statistiska skillnader påvisas med signifikans för alla

behandlingar i jämförelse med kontrollen.

Fortsättning

Denna rapport kommer att ligga till grund för författarens kandidatuppsats i biologi (kurskod: EX0894) vårterminen 2019 där den kommer refereras till som pilotförsöket. Rapporten ska även ses som ett verktyg för framtida odlingsförsök så att onödiga misstag inte ska behöva upprepas och för att nyttiga lärdomar ska finnas kvar och ge nytta i framtiden.

Material och metod

Såjord behandlad enligt försöksplanen till kursförsöket samt nybehandlad jord, se bilaga 1 och 2.

Små slutna tråg (litet tråg) å 40x25x5 cm, 6 st

Stora slutna tråg (stora tråg) å 55x35x9cm, 7 st

Plastkrukor å 9x9x9cm, 89 st

Gödslingsvatten

Stadiga märkningslappar

Blompinnar

Skyddsutrustning: plasthandskar, förkläde eller likartad skyddsklädsel samt skyddsglasögon

Plastpåsar för hushållssopor

Papperspåsar

Pipett

Våg

Linjal och måttband

Vattenbeständig penna och vanligt A4-papper.

Groningsförsöket

350 frön mättes upp genom vägning. 10 frön vägdes på våg där vikten (Xg) multiplicerades med 35 för att få det önskade antalet

$$Xg * 35 \approx 350 \text{ frön}$$

denna metod är bra när en behöver stora mängder frön.

Innan sådd räknades exakt 50 frön till varje litet tråg. Frön som såg missformade eller på annat sätt ut att kunna gro sämre byttes ut mot frön som såg finare ut och därför kunde förväntas ha bättre kvalitet.

Trågen märktes för varje behandling så att rätt jord skulle hamna i rätt tråg. Plastlappar och vattenbeständig penna användes. För att minimera risken för ojämn uppkomst fylldes de små trågen till hälften med behandlad eller obehandlad jord som jämnades ut och plattades till lätt med handen, plasthandskar användes. 50 frön placerades i 5 rader från trågets kortsida med 10 frön i varje rad (figur 1) varpå jord fylldes upp till ca 1–1,5 cm ovanpå fröna. Jorden plattades lätt till med handen och

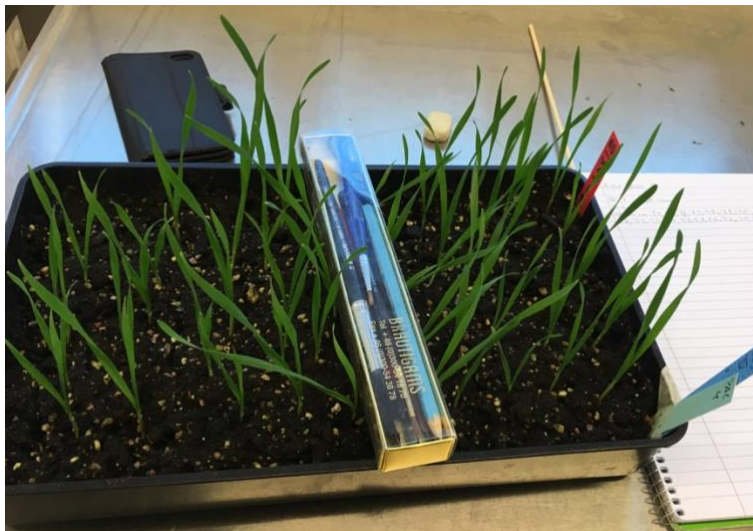
vattnades ordentligt men försiktigt, så att ytjorden inte flyttades av bevattningen. Alla trågen placerades i växthus och vattnades med två-tre dagars intervall med näringsvatten. Hela försöket märktes upp med kurskod för att inga missförstånd skulle uppstå om att plantorna skulle få vara på den anvisade platsen.

Mätmetoden för groningen var okulär besiktning där synligt hjärtblad ovan jord räknades som grott frö.

Mätmetod för slutmätning av plantor 14 dagar efter sådd. Avlång liten låda lades mellan trågets kanter varpå mätning från lådan till plantans topp mättes i cm, figur 2.



Figur 1. Såmetod för vetefrön i olika behandlad jord.



Figur 2. Mätmetod för slutmätning av plantor i groningsförsöket.

Tillväxtförsöket

Plantor från groningsförsökets kontroller, 18 dagar efter sådd, omplanterades i behandlad eller obehandlad jord i svarta plastkrukor. Av 150 kontroller valdes de friskaste plantorna som såg likadana ut. Omplanteringen gick till som följer: plantorna hanterades försiktigt för att inte skada skott eller rötter, de lades därför i vattenbad för att inte torka ut under omplanteringen och för att lättare skilja rötter åt, figur 3. Lite behandlad eller obehandlad jord som vattnats innan med näringsvatten lades i botten på varje kruka och varje enskild planta placerades i mitten av krukans båda i vertikal och lodrät position varpå jord fylldes till ca 5 cm från krukant. Blompinnar användes för att stödja plantorna. Varje behandling hade 11 replikat som placerades i ett stort tråg vilket skapade ett slutet system där ämnena i jorden stannade i systemet, figur 4. Alla behandlingarna märktes upp i det stora trågets kant. En tydlig lapp där det stod "NO WATER" placerades tydligt i trågen då egen bevattning utfördes. De nybehandlade plantorna med PAK rek.10⁰ behandlades via applicering direkt i krukorna. En kontroll placerades i tråget och ingick i samma slutna systemet som de nybehandlade plantorna. Bevattning för samtliga plantor skedde med ca 2–3 dagars mellanrum.

Mätmetoden var mätning i cm med måttband från krukans kant med följande mätvärden

- plantans totala längd
- nyaste bladets längd
- översta nodens längd
- skillnad i längd mellan översta och näst översta noden
- antal noder
- bestockning (där första skottet ej räknades med i bestockningen).

Vid avslutandet av försöket sparades jord likt efter kursförsöket och fem plantor från varje behandling sparades i pappåsar.



Figur 3. Omplantering av veteplantor, här i vattenbad, 18 dagar efter sådd.



Figur 4. Omplanterad vete i slutna system.

Resultat

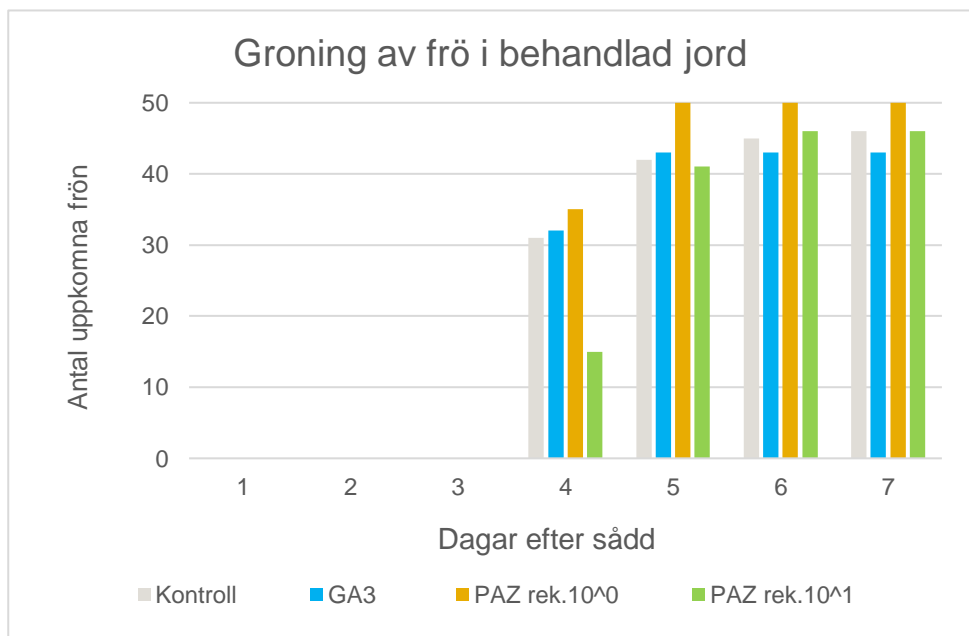
Groningsförsöket

Jord behandlad med paklobutrazol eller GA₃ som var minst 104 dagar gammal hade ingen signifikant effekt på groningen av vete. Uppkomst för alla behandlingar noterades fyra dagar efter sådd och efter sju dagar noterades ingen mer uppkomst, se tabell 1 och figur 5. Figur 6 visar skillnad i tillväxt 14 dagar efter sådd.

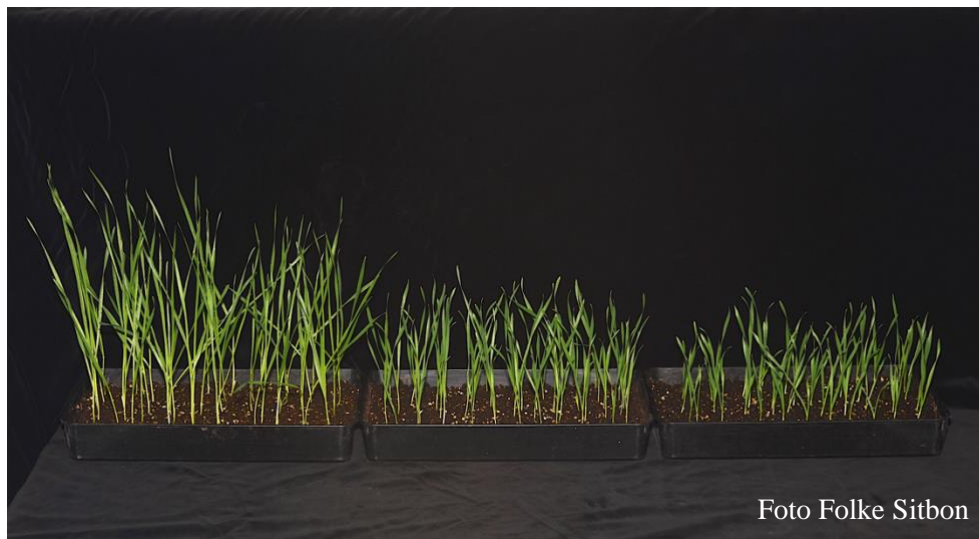
Tabell 1. Antal grodda frön av 50, 4–7 dagar efter sådd.

Dag efter sådd	kontroll	GA ₃ tid	GA ₃ c	PAK rek.10 ⁰	PAK rek.10 ¹
4	31	32	27	35	15

5	42	43	46	50	41
6	45	43	46	50	46
7	46	43	46	50	46



Figur 5. Groning av frö över 7 dagar av 50 sådda frön per behandling. Jorden var behandlad med olika koncentrationer tillväxtreglerare (paklobutrazol och GA3) som legat i jorden i 80 dagar.



Figur 6. Paklobutrazols effekt på grobarhet hos vete. Bilden är tagen 14 dagar efter sådd. Vid groningsförsökets start hade paklobutrazol legat i jorden i 80 dagar. Från vänster: kontroll, PAK rek.10⁰ och PAK rek.10¹.

Tillväxtförsöket

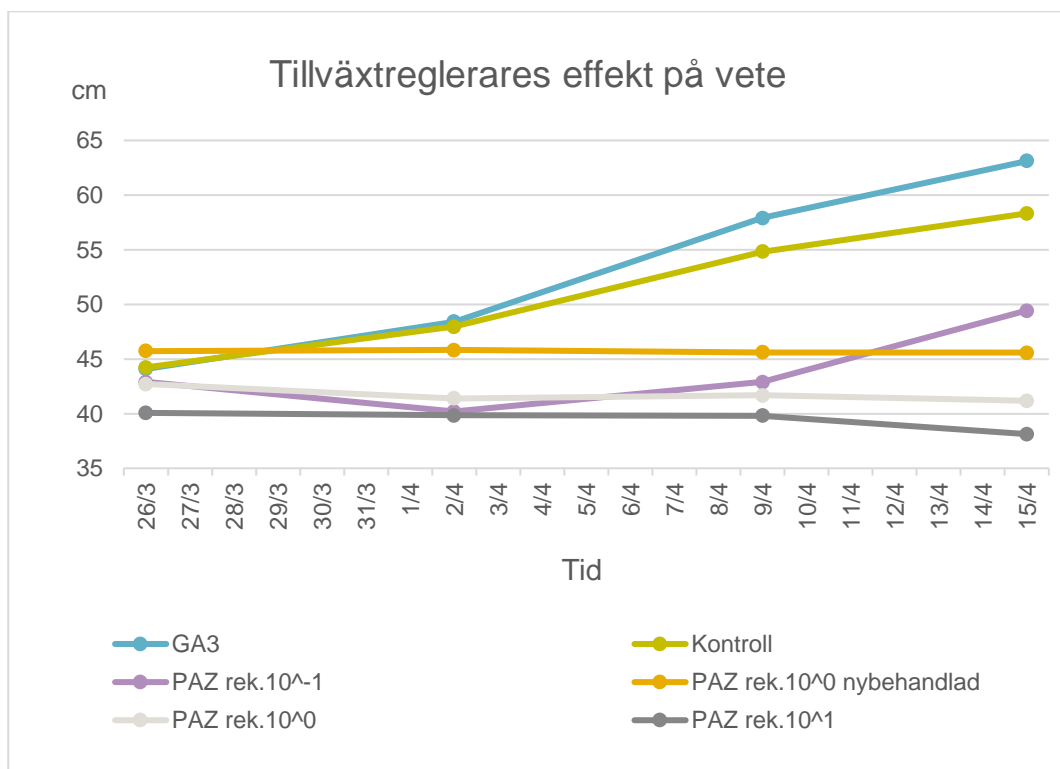
Jord som var minst 104 dagar gammal och behandlad med tillväxtreglerarna paklobutrazol och GA3 visar vid okulär besiktning, figur 6–8, och statistisk analys genom t-test signifikanta skillnader i tillväxt och bestockning se figur 9 och 10.



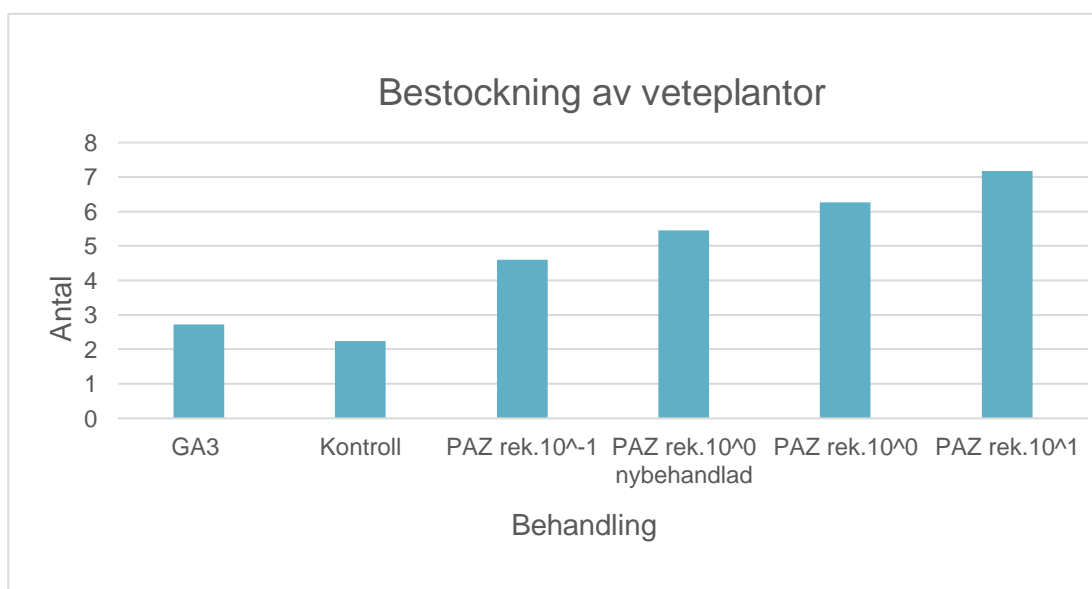
Figur 7. Okulär besiktning av veteplantor 27 dagar efter tillväxtförsökets start, tre plantor per behandling. Vid tillväxtförsökets start var det 104 dagar sedan jorden behandlades med tillväxtreglerare. Från vänster: GA3, kontroll, PAK rek.10⁻¹, PAK rek.10⁰ och PAK rek.10¹.



Figur 8. Okulär besiktning av veteplantor 27 dagar efter omplantering. Vid tillväxtförsökets start var det 104 dagar sedan jorden behandlades med tillväxtreglerare. Från vänster: GA3, kontroll, PAK rek.10⁻¹, PAK rek.10⁰ och PAK rek.10¹.



Figur 9. Tillväxt för vete över 27 dagar. Vid försökets start var det 104 dagar sedan jorden behandlades med tillväxtreglerare paklobutrazol och GA3 och plantorna var 18 dagar gamla räknat efter sådd.



Figur 10. Bestockning av veteplantor 27 dagar efter omplantering. Vid tillväxtförsökets start var plantorna 18 dagar gamla och tillväxtreglerarna paklobutrazol och GA3 hade legat i jorden i 104 dagar.

Diskussion

Paklobutrazol har inte brutits ner under de 104 dagar det legat i jorden. Skillnader i längd och även utveckling noterades. Axbåg och blomning blev försenat vilket syns på figur 11. (infoga bild från Mohammad Sameri). Ett viktigt område för retardering inom jordbruket i Sverige är gräsfrö till utsäde. En tillväxthämmad planta ger rikligare bestockning och ökade fröskördar. Nu används inte paklobutrazol inom jordbruket i Sverige. Om det skulle göra det skulle det utgöra en miljöfara då ämnet är persistent i jord, vilket är beskrivet i produktblad och även påvisats i denna rapport. Påverkan på tillväxt för enhjärtbladiga växter har visats i det här försöket och enligt föreskrifter är tvåhjärtbladiga växter än mer påverkade av det gibberellinsyrasynteshämmande ämnet. Det som antydde att tvåhjärtbladiga växter påverkas negativt av paklobutrazol i det här försöket var att andelen ogräs i krukorna, backtrav *Arabidopsis thaliana*, var färre i de krukor med högre koncentration paklobutrazol.

Vad kan göras annorlunda om ett liknande försök görs?

Färre replikat. Det blir bra signifikans och många backuper vid fler replikat men det tar mycket tid att mäta elva plantor och det är inte nödvändigt att ha så många replikat för att få signifikanta resultat.

Att använda dikotyledoner, tvåhjärtbladiga växter, är bra om syftet är att se om PAK har olika effekt på mono- och dikotyledoner.

Använda jord behandlad över längre tid och i olika temperaturer kan vara bra för att undersöka om nedbrytningens hastighet förändras vid olika temperaturer.

Antal mätvärden kan minska. Det som var intressant för vete och som gav resultat i tillväxtförsöket var längden på plantan, hur många noder som syntes, översta nodens längd och bestockning.

Mättekniken kan bli bättre.

En annan sak som hade varit intressant att testa är de stråförkortningsmedel som används i Sverige idag. Göra om försöket med samma upplägg men jämföra ett på marknaden godkänt jordbrukspreparat och se om det ligger kvar i marken.

Bilaga 1

Försöksbeskrivning växthormoner

- vt 2018

Jag vill titta på eftereffekterna av jord behandlad med olika koncentrationer paclobutrazol (PAK) och GA3 och hur jordarna påverkar groning och tillväxt för spannmål X(vete/råg/korn).

Ligger medlet kvar i jorden eller har det brutits ner eller tagits upp av grödan som tidigare växte på jorden?

Försöket:

4 olika behandlade jordar paclobutrazol

4 olika behandlade jordar GA3

1 kontroll odlad på jord med nytillsatt paclobutrazol

1 kontroll odlad på jord med nytillsatt GA3

1 kontroll med obehandlad jord

Antal plantor per behandling och utrymme

11 replikat, 1,5m²

Kontroll kommer att odlas på obehandlad jord och jord som i början av försöket behandlas med antingen paclobutrazol eller GA3 med den rekommenderade dosen. Detta för att se om effekten är densamma för nybehandlad jord som för tidigare behandlad jord där gröda vuxit.

Bevattnings:

Jordarna kommer att vattnas med näringslösning och varje behandling kommer att stå i tråg för att undvika spill och kontaminering. Vattning kommer jag kanske att göra själv för att även titta på vattenmängd som konsumerats, eftersom att det var påtagligt vid föregående försök att paclobutrazolbehandlade grödor inte drack lika mycket vatten som GA-behandlade eller kontrollgrödor.

Mätmetod:

Groning: antal grodda frön och om de utvecklas till plantor

Tillväxt: hela plantans längd samt antal noder och nodlängd, kanske kommer färsk- eller torrsvikt vid försökets slut att användas.

Vattenkonsumtion: om tid finns.

Behandlad jord:

Paclobutrazol:

Dos III(rekommenderad dos): 0,17451 mg/45ml

Dos I: $10 \cdot 0,17451$ mg/45ml

Dos II: $0,1 \cdot 0,17451$ mg/45ml

Dos IV: $0,01 \cdot 0,17451$ mg/45ml

GA3:

Dos III(rekommenderad dos): 0,77850 mg/45m

Dos I: $10 \cdot 0,77850$ mg/45m

Dos II: $0,1 \cdot 0,77850$ mg/45m

Dos IV: $0,01 \cdot 0,77850$ mg/45m

Bilaga 2

Beräkningar för paklobutrazol och GA3 för kurs- och pilotförsöket.

Paklobutrazol:

En standardslösning på 38,78 mg/l bereddades.

0,03878 g paklobutrazol vägdes upp och löstes upp i aceton. Lösningen hällades i en enlittersflaska märkt: paklobutrazol 38,78 mg/l. Lösningen späddes upp till 1 liter med avjonat vatten. Koncentrationen blev,

$$C = \frac{n}{V}, n = \frac{m}{M}$$

$$n = \frac{0,03878 \text{ g}}{293,795 \text{ g/mol}} = 1,32 * 10^{-4} \text{ mol}$$

$$C = \frac{1,32 * 10^{-4} \text{ mol}}{1 \text{ dm}^3} = 1,32 * 10^{-4} \text{ M}$$

Alla doser för alla behandlingar som skulle appliceras bereddades där standardlösningen späddes ut med 1 del standardlösning och 9 delar avjonat vatten för att få den rekommenderade lösningen. På samma sätt gjordes spädningar för dos II och dos I med 0,1 delar standardlösning och 9,9 delar avjonat vatten samt 0,01 delar standardlösning och 9,99 delar avjonat vatten.

Behandlingar med 45 ml lösning tillsattes varje enskild kruka.

Dos IV innehöll 1,7451 mg paklobutrazol per 45 ml behandling

$$\frac{0,03878 \text{ g} * 0,045}{1 \text{ l} * 0,045} = 1,7451 \text{ mg/45ml}$$

Dos 3, rekommenderad dos, innehöll 0,17451 mg/45 ml per behandlad kruka/planta.

GA3:

En standardlösning med 35 mg/l GA3 bereddades.

Utförandet var detsamma som för paklobutrazol men GA3 löstes i aceton. Samma doseringar bereddades och den rekommenderade dosen innehöll 0,77850 mg GA3 per 45 ml lösning som applicerades i respektive kruka. Koncentrationen för rekommenderad behandling var $1,010 * 10^{-5} \text{ mol/l}$

$$M = 346,4 \text{ g/mol}$$

$$n = 0,0035 \text{ g} / 346,4 \text{ g/mol} = 1,010 * 10^{-5} \text{ mol}$$

$$C=1,010 \cdot 10^{-5} \text{ mol/l}$$

Aktiv Substans	Dos I	Dos II	Rek. dos / Dos III	Dos IV
Paclobutrazol	0,01 x Rek. dos	0,1 x Rek. dos	0,17451 mg/45ml	10 x Rek. dos
GA	-	-	0,77850 mg/45ml	-

Tabell 1. Doser för paklobutrazol och GA3 till pilotförsöket och växtodlingsförsöket på kursen i växtbiologi (kurskod:BI1279).

Nr: 174
Uppsala, 2019

Department of Plant Biology
SLU Box 7080
75007 Uppsala, Sweden